

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : **2000-074830**

(43)Date of publication of application : **14.03.2000**

(51)Int.Cl.

**G01N 21/39**

(21)Application number : **10-243643**

(71)Applicant : **HORIBA LTD**

**MIYAUCHI TOSHIO**

**NAKAJIMA TAKESHI**

**IKEDA YUJI**

**SEIKA SANGYO KK**

(22)Date of filing : **28.08.1998**

(72)Inventor : **NAKAJIMA TAKESHI**

**IKEDA YUJI**

**MIYAZAKI KAZUHIRO**

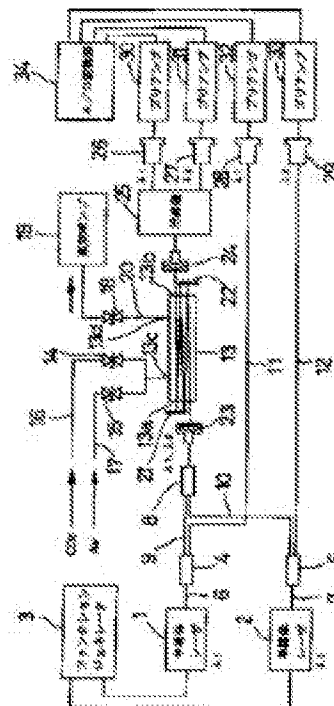
## (54) HIGH-SPEED MEASURING METHOD AND MEASURING SYSTEM FOR TEMPERATURE, CONCENTRATION AND CHEMICAL SPECIES BY USE OF SEMICONDUCTOR LASER SPECTROSCOPY

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To perform the time series measurement of the temperature, concentration and chemical species of fuel gas present in a burning place with a high time resolution of a specified value or more by emitting a laser beam having a specified wavelength to a gas to be measured through an isolator and an optical fiber, and sweeping the wavelength of the laser beam.

**SOLUTION:** Two laser beams  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  of about 2  $\mu\text{m}$  emitted from semiconductor lasers 1, 2 are transmitted in mixed state by a cell 13 filled with a gas to be measured as measuring light, and incident on photodiodes 26, 27.

On the other hand, the laser beams  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  are also incident on photodiodes 28, 29 as reference light. The photodiodes 26-29 output signals according to the incident light, the output signals are



transmitted to an A/D converter 34 through preamplifiers 30-33, and the converted outputs are signal-processed by a computer. According to this, the temperature, concentration and chemical species of the gas to be measured supplied to the cell 13 can be measured with a high time resolution of several tens KHz or more.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2000-74830  
(P2000-74830A)

(43) 公開日 平成12年3月14日 (2000.3.14)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>  
G 0 1 N 21/39

識別記号

F I  
G 0 1 N 21/39

テーマコード\* (参考)  
2 G 0 5 9

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願平10-243643

(22) 出願日 平成10年8月28日 (1998.8.28)

特許法第30条第1項適用申請有り 平成10年5月27日～  
5月29日 日本伝熱学会主催の「第35回日本伝熱シンポ  
ジウム」において文書をもって発表

(71) 出願人 000155023  
株式会社堀場製作所  
京都府京都市南区吉祥院宮の東町2番地  
(71) 出願人 596089540  
宮内 敏雄  
神奈川県横浜市港北区仲手原1-18-30-  
819  
(71) 出願人 593004131  
中島 健  
兵庫県宝塚市売布山手町3-19  
(74) 代理人 100074273  
弁理士 藤本 英夫

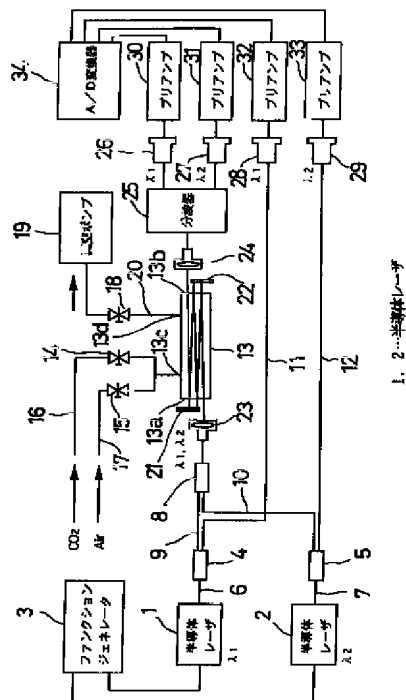
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体レーザ分光法を用いた温度・濃度・化学種の高速計測方法および計測システム

(57) 【要約】

【課題】 コンパクトな装置構成によって、燃焼場に存在する燃料や燃焼ガスの温度・濃度・化学種を数10kHz以上の高時間分解能で時系列計測できる半導体レーザ分光法を用いた温度・濃度・化学種の高速計測方法および計測システムを提供すること。

【解決手段】 2μm付近のレーザ光をアイソレータと光ファイバとを介して被測定ガスに照射するとともに、前記レーザ光の波長掃引を行うようにした。



【特許請求の範囲】

【請求項1】  $2\mu\text{m}$ 付近のレーザ光をアイソレータと光ファイバとを介して被測定ガスに照射するとともに、前記レーザ光の波長掃引を行うようにしたことを特徴とする半導体レーザ分光法を用いた温度・濃度・化学種の高速計測方法。

【請求項2】 2つ以上の波長の異なるレーザ光をシーケンシャルに発振させるようにした請求項1に記載の半導体レーザ分光法を用いた温度・濃度・化学種の高速計測方法。

【請求項3】 2つの波長の異なるレーザ光を対向するように発振させるようにした請求項1に記載の半導体レーザ分光法を用いた温度・濃度・化学種の高速計測方法。

【請求項4】 高温領域と低温領域においてそれぞれ最適の波長を用いるようにした請求項1に記載の半導体レーザ分光法を用いた温度・濃度・化学種の高速計測方法。

【請求項5】 信号処理においてベースライン補間を行うようにした請求項1に記載の半導体レーザ分光法を用いた温度・濃度・化学種の高速計測方法。

【請求項6】 2つ以上の波長の異なるレーザ光を用いることにより外乱を補償するようにした請求項1に記載の半導体レーザ分光法を用いた温度・濃度・化学種の高速計測方法。

【請求項7】  $2\mu\text{m}$ 付近のレーザ光をアイソレータと光ファイバとを介して被測定ガスに照射するとともに、前記レーザ光の波長掃引を行うようにしたことを特徴とする半導体レーザ分光法を用いた温度・濃度・化学種の高速計測システム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、半導体レーザ分光法を用いた温度・濃度・化学種の高速計測方法および計測システムに関する。

【0002】

【発明の背景】半導体レーザ分光法を用いると、複数化学種の温度や濃度を同時かつ高時間分解能で時系列的計測を行うことができ、レーザ自体が小型でロバスト性に優れており、装置の取扱いや光ファイバによる光学的アクセスが容易であることから、各種の実用燃焼機器の計測やリークセンサへの応用が期待されているところである。

【0003】

【従来の技術】従来においては、主に主要燃焼生成物である $\text{H}_2\text{O}$ の温度・濃度・流速などの計測に関する研究が多くなされていたが、最近では、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{NO}$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{CO}_2$ などの計測への応用もなされている。特に、近年、地球温暖化問題で注目されている $\text{CO}_2$ に関しては、広範囲の波長掃引が可能である $1.5\mu\text{m}$ 付近（一

般には、 $1.3\sim 1.5\mu\text{m}$ の範囲をいう）の外部キャビティ半導体レーザによる濃度計測の報告がなされている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記波長帯は吸収強度が弱いため、数 $10\text{m}$ という長い光路長が必要であるといった課題があるとともに、外部キャビティ半導体レーザは、波長掃引速度が制限されるため、高時間分解能での計測ができず、また、振動に対して弱く、装置が大掛かりになるといった課題がある。

【0005】この発明は、上述の事柄に留意してなされたもので、その目的は、コンパクトな装置構成によって、燃焼場に存在する燃料や燃焼ガス（例えば $\text{CH}_4$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{NO}$ 、 $\text{NO}_2$ など）の温度・濃度・化学種を数 $10\text{kHz}$ 以上の高時間分解能で時系列計測できる半導体レーザ分光法を用いた温度・濃度・化学種の高速計測方法および計測システムを提供することである。

【0006】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため、この発明では、 $2\mu\text{m}$ 付近のレーザ光をアイソレータと光ファイバとを介して被測定ガスに照射するとともに、前記レーザ光の波長掃引を行うようにしている（請求項1および請求項7）。

【0007】従来よりも長い波長である $2\mu\text{m}$ 付近（一般には、 $1.8\sim 2.2\mu\text{m}$ の範囲をいう）の半導体レーザを用いることによって、吸収の強い吸収線で計測を行うことができるとともに、必要光路長の短縮や、温度・濃度・化学種の計測における $\text{S/N}$ を向上させることができる。そして、前記レーザ光の波長掃引に必要な外部入力信号の波形として、直線、曲線、ステップを含む波形、より具体的には、サイン波、ランプ波、三角波、パルス波のいずれかまたはそれらのうちのいずれかを適宜組み合わせたものを用いるようにしているので、高速掃引を行うことができ、温度・濃度・化学種を高速で時系列計測することができる。特に、前記波形としてサイン波を用いた場合、半導体レーザやアンプなどの時間応答性の周波数特性を向上させることができ、 $10\text{MHz}$ での高速波長掃引が可能となり、これによって、 $10\text{MHz}$ の高速で温度・濃度・化学種の時系列計測を行うことができる。

【0008】そして、2つ以上の波長の異なるレーザ光をシーケンシャルに発振（時分割発振）させるようにしてもよく、そのようにした場合、分波器などの光学手段が不要になり、装置構成を簡略化できるとともに、ロバスト性の向上を図ることができる。

【0009】また、2つの波長の異なるレーザ光を、双方向通信のように発振するようにしてもよく、そのようにした場合、分波器などの光学手段が不要になり、装置構成を簡略化できるとともに、ロバスト性の向上を図る

ことができる。

【0010】さらに、高温領域と低温領域においてそれぞれ最適の波長を用いるようにしたり、信号処理においてベースライン補間を行うようにしてもよい。

【0011】さらにまた、2つ以上の波長の異なるレーザ光を用いることによりセル窓などの汚れや振動などの外乱を補償することもできる。

【0012】

$$(I/I_0)_\nu = \exp(-k_\nu L) \quad \dots\dots (1)$$

ここで、 $I_0$  は入射光強度、 $I$  は透過光強度、 $L$  は光路長であり、 $k_\nu$  は吸収係数である。そして、この吸収係数 $k_\nu$  は、下記(2)式で表され、さらに、これを振動

$$k_\nu = S(T) P_{abs} \phi_\nu \quad \dots\dots (2)$$

【0014】

$$K = \int_{-\infty}^{\infty} k_\nu d\nu = S(T) P_{abs} \quad \dots\dots (3)$$

【0015】ここで、 $S(T)$  [ $\text{cm}^{-2} \text{atm}^{-1}$ ] は吸収線遷移強度、 $P_{abs}$  [ $\text{atm}$ ] は光を吸収する気体の分圧、 $\phi_\nu$  [ $\text{cm}$ ] は線形関数である。

【0016】気体は、それぞれ固有の吸収波長帯を持っており、その吸収波長帯には、例えば図10に示すように、多くの吸収線が存在している。この図10は、 $\text{CO}_2$  ( $2\mu\text{m}$ 帯)の吸収線の分布を示すもので、同図(A)は温度が296Kのもの、同図(B)は温度が750Kのものである。

【0017】そして、図11に示すように、前記吸収線のうちの1本、例えば波長 $\lambda_1$  に対して半導体レーザの発振波長を掃引することによって吸収を測定する。この波形と参照光波形との比をとることによって、スペクトルプロファイルを測定する。また、温度計測は、前記スペクトルプロファイルを異なる2つの吸収線 $\lambda_1$  ,  $\lambda_2$  について計測し、それらの面積比 $A_1/A_2$  (またはピーク高さの比 $P_1/P_2$ )をとることにより求めること

$$A = \sum (KL) = P_{abs} LS(T) \quad \dots\dots (4)$$

【0020】そして、2つの複合スペクトルプロファイルについて、吸収度を計測し、それらの比 $R$ と、下記

$$\begin{aligned} R &= \frac{A_1}{A_2} \\ &= \frac{\sum_{i=1}^m S_i(T_0) \exp\{-(hc/k) E_i'' (1/T - 1/T_0)\}}{\sum_{j=1}^n S_j(T_0) \exp\{-(hc/k) E_j'' (1/T - 1/T_0)\}} \end{aligned} \quad \dots\dots (5)$$

ここで、 $h$  [ $\text{J} \cdot \text{s}$ ] はプランク定数、 $c$  [ $\text{cm/s}$ ] は光速、 $k$  [ $\text{J/K}$ ] はボルツマン定数、 $E''$  [ $\text{cm}^{-1}$ ] は準位のエネルギーである。

【0022】そして、全圧 $P$  [ $\text{atm}$ ] と光路長 $L$  [ $\text{cm}$ ] が既知である場合、前記(5)式から求めた温度 $T$

【発明の実施の形態】発明の実施の形態を、図面を参照しながら説明する。まず、半導体レーザ分光法による温度・濃度・化学種の同時計測原理について説明すると、図9に示すように、半導体レーザ81から波数 $\nu$ の入射光がセル82内の気体に入射すると、前記入射光はガスの吸収を受けて、受光素子83に受光されるが、その透過光強度は、下記(1)式で表されるランバートーベールの法則に従う。

数 $\nu$ で積分した積分吸収係数は、下記(3)式で表される。

$$\dots\dots (2)$$

$$\dots\dots (3)$$

ができる。

【0018】なお、前記スペクトルプロファイルを得る場合、参照光波形は必ずしも必要ではなく、半導体レーザの発振波長を掃引することによって吸収を測定したときに得られる測定光波形のみからでもベースライン補間の手法を用いることにより、スペクトルプロファイルを得ることができる。すなわち、測定光波形が、前記図11の左上に示すような場合、図中の符号 $X$ で示す部分をベースライン補間の手法によって求め、これを他の吸収のない部分(図中の符号 $Y$ で示す仮想線)と一直線状に結び、これを参照光波形とするのである。

【0019】そして、複数の吸収線のスペクトルプロファイルから一つの複合スペクトルプロファイルを形成している気体の場合、その複合スペクトルプロファイルの吸収度 $A$ は、下記(4)式に示すように、スペクトルプロファイルの下部の総面積で表される。

$$\dots\dots (4)$$

(5)式から温度 $T$ を求める。

【0021】

と前記(4)式とから測定気体のモル分率を求めることができる。つまり、個々の測定対象成分の濃度が求められる。

【0023】

【実施例】図1は、この発明の半導体レーザ分光法を用

いた温度・濃度・化学種の高速計測方法および計測システム（以下、単に計測システムという）を説明するための概念図であり、図2はその実際の計測システムの構成を概略的に示す図である。以下においては、主として図2を参照しながら説明する。

【0024】図1および図2において、1, 2は発光部としての半導体レーザで、互いに異なる波長 $\lambda_1$ （例えば $1.996\mu\text{m}$ ）、 $\lambda_2$ （例えば $2.050\mu\text{m}$ ）のレーザ光を発し、例えば分布帰還型（DFB）半導体レーザよりなる。これらの半導体レーザ1, 2は、ファンクションジェネレータ3によってそれぞれ電流制御される。これらの半導体レーザ1, 2は、その波長掃引に必要な外部入力信号として、直線、曲線、ステップを含む波形、具体例として、サイン波、ランプ波、三角波、パルス波のいずれかまたはそれらのうちのいずれかを適宜組み合わせたものを用いるようにしている。また、これらの半導体レーザ1, 2は、図示してないが、それぞれ $2.0\mu\text{m}$ 用のアイソレータを備えている。

【0025】4, 5は前記半導体レーザ1, 2に光ファイバ6, 7を介して接続されるファイバカップラ、8は半導体レーザ1, 2がそれぞれ発するレーザ光を後述するセル13に測定光として送出するためのファイバカップラで、9, 10は光ファイバである。なお、光ファイバ6, 7には、参照光としてのレーザ光用の光ファイバ11, 12がそれぞれ接続されている。

【0026】13は前記ファイバカップラ8の後段に設けられるセルである。このセル13の両端部は、 $2\mu\text{m}$ 付近のレーザ光を透過させるセル窓13a, 13bで封止されるとともに、ガス導入口13c、ガス導出口13dを備え、ガス導入口13cには例えば $\text{CO}_2$ と空気を適宜の割合で供給できるように開閉弁14, 15を備えたガス供給ライン16, 17が接続され、ガス導出口13dには開閉弁18および真空ポンプ19を備えたガス排出ライン20が接続されている。この実施例においては、セル窓13a, 13bの外部にミラー21, 22を設け、セル13に入射したレーザ光がセル13内を数回通過した後、出射するように構成されている。

【0027】そして、23, 24はセル13の前段側および後段側にそれぞれ設けられるコリメータで、後段側のコリメータ24の後段には分波器25が設けられている。この分波器25は、セル13を透過した二つの波長のレーザ光（測定光）を波長 $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ のレーザ光に分離するものである。

【0028】26, 27は測定光用のフォトダイオード、28, 29は参照光用のフォトダイオードで、これらのフォトダイオード26, 27には分波器25によって分離された波長 $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ のレーザ光（測定光）が入射し、フォトダイオード28, 29には光ファイバ11, 12を経て波長 $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ のレーザ光（参照光）が入射する。

【0029】30~33は前記フォトダイオード26~29にそれぞれ対応して設けられるプリアンプで、これらのプリアンプ30~33は、A/D変換器34を経て図示していない信号処理装置（例えばコンピュータ）に入力されるように構成されている。

【0030】上述のように構成された計測システムにおいては、セル13に $\text{CO}_2$ と空気を適宜の割合で混合したガスが被測定ガスとして供給される。この状態において、半導体レーザ1, 2からそれぞれ発せられた二つの波長のレーザ光 $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ が、混合した状態で被測定ガスが充填されたセル13を測定光として透過する。この測定光は、分波器25において元の波長 $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ のレーザ光となり、フォトダイオード26, 27に入射する。一方、前記半導体レーザ1, 2からそれぞれ発せられた二つの波長のレーザ光 $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ は、そのまま光ファイバ11, 12を経て参照光としてフォトダイオード28, 29に入射する。

【0031】そして、前記フォトダイオード26~29からは、前記入射する光に応じた信号を出力し、これらの出力信号は、プリアンプ30~33を経てA/D変換器34に入り、その変換出力がコンピュータに入力され、信号処理される。セル13に供給された被測定ガスの温度・濃度・化学種が求められる。

【0032】上記実施例における計測システムにおいては、計測に用いるレーザ光を、従来よりも長い波長である $2\mu\text{m}$ 付近の相異なる波長 $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ のレーザ光を用いているので、吸収の強い吸収線で計測を行うことができ、必要光路長の短縮や、温度・濃度・化学種の測定におけるS/Nの向上が図れる。

【0033】そして、半導体レーザ1, 2から前記波長 $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$ のレーザ光を発するに際しては、波長掃引を行わせるために、上述したように、直線、曲線、ステップを含む波形、具体例として、サイン波、ランプ波、三角波、パルス波のいずれかまたはそれらのうちのいずれかを適宜組み合わせたものを、外部入力信号として用いることができるが、特に、サイン波信号を掃引信号として用いることにより、半導体レーザ1, 2やアンプなどの時間応答性の周波数特性を向上させることができ、10MHzでの高速波長掃引が可能となり、これによって、10MHzの高速で温度・濃度・化学種の時系列計測を行うことができる。

【0034】また、前記計測に際しては、1本の吸収線のスペクトルプロファイル全体を計測するのではなく、前記図11に示したように、スペクトルのピークの高さだけを検出し、そこから温度・濃度を算出する。その際、温度・濃度・圧力・流速が変動する場ではスペクトルのピークの位置がシフトするため、波長固定ではピークからずれてしまう可能性がある。そこで、図12に示すように、ピーク付近の狭い範囲のみに対して波長掃引を行い、確実にピークの高さを検出する。このようにす

ることにより、波長掃引範囲を狭くすることができ、サンプル数が少なくてもこれを有効に使うことができるので、計測をより高速に行うことができる。

【0035】上述の実施例においては、計測に用いる2つの波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ のレーザ光を分波器25を用いて分離していたが、図3に示すように、2波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ のレーザ光を交互に時分割発振させるようにしてもよい。すなわち、同図(A)に示すように、一方の半導体レーザ1からのレーザ光の波長を $\lambda_1$ とし、他方の半導体レーザ2からのレーザ光の波長を $\lambda_2$ とすると、その発振のタイミングは、同図(B)に示すように、 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、……というように交互になるようにする。このようにした場合、分波器25が不要になり、計測システムの構成が簡略になり、計測システムのロバスト性が向上する。そして、この時分割光学系は、波長が $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ の2つだけのものに限られず、同図(C)に示すように、複数であってもよい。その場合、発振のタイミングは、同図(D)に示すように、 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、…、 $\lambda_n$ 、 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ 、……となるようにする。

【0036】また、上述の実施例においては、セル13の一方の側に半導体レーザ1、2を設け、他方の側にフォトダイオード26、27を設けるようにしていたが、図4に示すように、セル13の一方の側に半導体レーザ1を、他方の側に半導体レーザ2をそれぞれ設け、半導体レーザ1に対応するフォトダイオード26を半導体レーザ2側に、半導体レーザ2に対応するフォトダイオード27を半導体レーザ1側にそれぞれ設け、あたかも双方向通信のように構成してもよい。このようにした場合、分波器25が不要になり、計測システムの構成が簡略になり、計測システムのロバスト性が向上する。

【0037】ところで、計測に用いる吸収線の吸収度は、それぞれ異なる温度依存特性を持っている。2本の吸収線の吸収度の比Rをとると、その組み合わせにより、図5に示すような2種類に大別される。すなわち、この図において、符号Aで示すものは全温度計測用であり、符号Bで示すものは高温計測用である。そして、図6は、前記曲線A、Bの温度に対する吸収度比Rの変化率を示している。この値が大きいほど、精密な温度計測が可能になる。図6において符号Aで示す曲線は、この値がゼロになることがないので、広い温度範囲での計測が可能である。また、符号Bで示す曲線は、700K付近でゼロになっており、この温度付近の計測には不向きであるが、900Kを超えると、前記曲線Aよりも値が大きくなるので、高温領域の計測は曲線Bの方が適していると言える。したがって、測定対象の温度により、使用する吸収線の選定を行うことが望ましい。

【0038】この発明の計測システムは、上記実施例に例示したように、測定対象である化学種が単一の場合のみならず、化学種が2以上の複数の場合であっても、それらの温度や濃度を個別に計測することができる。図7

は、例えばCO<sub>2</sub>とH<sub>2</sub>Oとの温度および濃度を測定する構成の一例を示すもので、この図において、41、42は、CO<sub>2</sub>測定用半導体レーザで、2 $\mu$ m付近で互いに異なる波長のレーザ光を出力する。また、43、44はH<sub>2</sub>O測定用半導体レーザで、2 $\mu$ m付近で互いに異なり、かつ、前記CO<sub>2</sub>測定用半導体レーザが出力するレーザ光の波長と異なる波長のレーザ光を出力する。ここで用いるレーザ光の波長は、波長付近の吸収線が同一気体および他の気体の吸収線から比較的孤立したものが好ましい。例えば、CO<sub>2</sub>の吸収線は、1996.5nm、2050.0nm、2053.8nm、2066.5nmであり、H<sub>2</sub>Oの吸収線は、1899.6nm、1847.1nm、1817.0nm、1821.6nm、1808.6nmである。したがって、測定対象の化学種が、CO<sub>2</sub>とH<sub>2</sub>Oである場合、レーザ光として、上記吸収線のうちから被測定場の温度によっておよび温度測定感度が高くなるような組み合わせとなるように選択するのが好ましい。

【0039】そして、図7において、45～48はファイバケーブル、49～56は分波器25の後段に設けられるフォトダイオードで、フォトダイオード49～52が測定光用、フォトダイオード53～56が参照光用である。この実施例における光路は、上述の実施例と同様に、光ファイバを用いて構成されることはいうまでもない。

【0040】また、この発明の計測システムにおいては、二つ以上の波長の異なるレーザ光を用いることにより、セル窓などの汚れや振動などの外乱を補償することもできる。すなわち、図8に示すように、二つの波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ を用いて測定を行う場合、これらの波長 $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$ とは異なる第3の波長 $\lambda_3$ のレーザ光を用い、これをセル13に照射し、セル13透過後のレーザ光をフォトダイオード57によって受光するように構成し、計測初期のフォトダイオード57の出力電圧値 $V_{a0}$ と計測時のフォトダイオード57の出力電圧値 $V_{a1}$ との比 $V_{a0}/V_{a1}$ を求め、これに基づいてセル窓の汚れの度合いをモニタリングすることができる。

【0041】さらに、この発明の計測システムにおいては、ドップラーシフト効果を利用することもでき、このようにした場合、セル13中のガスの移動速度を測定することができる。また、吸収量のブローディング効果により圧力を測定することもできる。

【0042】次に、この発明の計測システムの応用分野について説明する。

【0043】(自動車エンジンへの応用) 図13は、エンジン計測への各種応用法を概略的に示すもので、この図において、61はエンジン筒、62は排気管、63は排気管62に設けられた触媒装置、64はEGR流路である。そして、これらの各部61～64に、発光側プローブとしてのコリメータ23および受光側プローブとし

でのコリメータ24を設けることにより、上記計測を連続的にリアルタイムで行うことができる。

【0044】・エンジン気筒内の温度・濃度の計測図14に示すように、サファイア製のエンジン筒61に、プローブとしてコリメータ23、24を互いに対向して設けることにより、エンジン筒61内におけるガスの温度、化学種およびその濃度の計測が可能になる。

【0045】・排気管における $\text{NO}_x$ ・ $\text{CO}_2$ の温度・濃度の時系列計測

図15に示すように、排気管62にプローブとしてコリメータ23、24を設けるとともに、ミラー21、22を設けることにより、排気ガス中に含まれる $\text{H}_2\text{O}$ 、 $\text{CO}_2$ 、 $\text{NO}$ など各種燃焼生成ガスの温度・濃度の計測が可能である。 $\text{kHz}$ 以上の高時間分解能、時系列計測が可能であるため、排気ガス濃度の時間変動をクランク角と対応させてクランク角1度に相当する分解能で測定が可能である。

【0046】・触媒装置における触媒の温度上昇のモニタリング

エンジン始動直後で触媒温度が低い状態では、触媒の $\text{NO}_x$ 抑制効果は小さいが、前記図13に示すように、触媒装置63に前記コリメータ23、24を互いに対向して設けた場合、エンジン始動後の触媒温度の上昇と $\text{NO}_x$ 排出量との関係を同時に計測することが可能であり、触媒の効果の時間的経過をリアルタイムでモニタリングすることができる。また、どの位置に触媒装置63を設けるのが効果的であるかといったデータも取得することができる。さらには、コールドスタート時に生成されるホルムアルデヒドとの相関についても調べることができる。

【0047】・EGRにおける各気筒への分配ガスの温度計測

図16に示すように、EGRにおいて、複数の気筒61が互いに並列的に設けられている場合、各気筒61への流路65にコリメータ23、24を設けて排気ガスの濃度を測定することにより、再循環ガスの分配比を計測したる制御することができ、各気筒61における燃焼状態の均一化、最適化を図ることができる。

【0048】・EGRガスによるインテークの空気温度の上昇のモニタリング

EGRにおいては、EGRガスによってインテークの気体温度が上昇することにより出力の低下が起こるが、インテーク部分での空気温度をリアルタイムで計測することにより、インテークの空気温度と圧力との関係を調べることができ、EGRとエンジン性能について統一的な評価を行うことができる。

【0049】・インテーククーラの性能評価

インテークの空気中の酸素の温度を計測することにより、インテーククーラの性能評価を行うことができる。

【0050】・ターボの特性評価

また、上述のように、排気ガスの温度を計測することができるので、従来のエンジンの回転数、ブート圧などに頼っていたターボの性能評価が可能となり、それにより最適設計を行うことができる。

【0051】・各気筒温度・濃度集合間における温度・濃度の変動の計測

そして、エンジンの各気筒ごとで気体の温度・濃度の変動を測定し、それらのばらつきを計測することもできる。また、排気管の各ポイントで計測することによって、高温ガスの移動速度を計測することができる。これにより、排気管から気筒への気体の逆流があるか否かを調べることができ、各気筒および集合管を最適に設計することができる。

【0052】・スパークプラグ近傍での温度・濃度の計測

さらに、スパークプラグ挿入型のファイバセンサを用いてスパークプラグ近傍での局所の温度・濃度を計測することもできる。これにより、着火前の混合ガスの温度・濃度と火炎伝播の関係を調べることができる。

【0053】・ $\text{NO}_x$ 生成のメカニズムへのアプローチところで、エンジンの燃焼においては、 $\text{NO}_x$ が発生するが、この生成は、燃焼ガスの温度による影響が大きい。そして、エンジンにおける燃焼ガスの流れは振動流であるため、単純ではない可能性がある。そこで、 $\text{CO}_2$ の温度の時間的変動を計測し、それと同時に $\text{NO}_x$ の生成量も計測することによって、燃焼ガスのバルクの振動流と $\text{NO}_x$ の生成との関係を調べることができる。

【0054】上述のように、この発明の計測システムは、エンジンの研究や設計を行うのに非常に好適であるが、さらに、次のような分野にも適用できる。

【0055】(超高速燃焼場への応用)

・燃料と空気の混合状態のモニタリング

RAM、SCRAMジェットエンジンの燃焼器内では、温度の変化が化学反応特性時間を大きく左右するため、燃料と空気の混合が大きな問題となる。そこで、濃度の変化を高時間分解能で時系列で計測することにより、その変動のスケールの算出が可能になり、前記混合の状態を把握することができる。

【0056】・Mass Flux、Heat Flux、スラストの計測

2波長を用いて2色法から燃焼ガスの温度計測を行い、Mass Flux、Heat Flux、スラストを計測することができる。これにより、従来、時間平均でしか計測できなかったが、失速時、あるいは回転数が急激に変化したときなどのようなトランジットな状態での燃焼効率の時間変動を計測することができる。

【0057】(乱流燃焼場への応用)

・各種パラメータの変動スケールの計測

乱流燃焼は、乱流による変動と化学反応とが組み合わさった非常に複雑な現象である。そこで、圧力、濃度、速



度の乱れ成分の時間的変動から変動のスケールを求め、各々の関係を見積もることが可能であり、このデータを実機で起こる複雑反応流の解析に利用することができる。

#### 【0058】(乱流場への応用)

##### ・ガスシーディングによる混合状態の計測

乱流場の際は、燃料と酸化剤である空気との混合が問題である。ここで、燃料と空気の2流体により形成された剪断層において、1流体に $\text{CO}_2$ や $\text{NO}$ をシードし、その濃度を時系列計測することにより、前記剪断層における混合スケールを求めることができる。シーディングするものが粒子ではなく気体であるので、粒子の追従性の問題はかなり回避できる。このような高速流や高圧場での基礎データは、実機のシミュレーションを行う上で必要である。

#### 【0059】(ガスタービンへの応用)

##### ・不安定燃焼のコントロール

燃料がリーンであると燃焼が不安定となり、圧力変動が生ずる。従来は、この圧力変動を燃焼室壁面で圧力ピックアップを用いて計測していたが、この圧力変動に影響を与えていると考えられる燃焼室内の $\text{CH}_4$ の温度・濃度のむら、時間変動をするモニタリングにより、より安定な燃焼を行わせることできる。

#### 【0060】・高圧条件下での温度・濃度のモニタリング

負荷が変動したときの $\text{CO}_2$ の生成についての把握、高圧条件下での温度・濃度のモニタリングが可能である。また、従来、排気ガスの計測は出口部分での計測は主流であったが、燃焼器内部での温度・濃度の変動を測定することができる。

#### 【0061】(火炉・ボイラーへの応用)

##### ・燃焼負荷のリアルタイムのコントロール

$\text{CH}_4$ 、 $\text{NO}$ 、 $\text{CO}_2$ のリアルタイムのモニタリングを可能とし、燃焼負荷のリアルタイムのコントロールが可能となる。 $\text{NO}$ 、 $\text{CO}$ 、 $\text{CO}_2$ の生成状況をモニタリングすることにより、燃焼の不安定因子の抽出と、安定コントロールへのフィードバックシステムを構築する。

#### 【0062】(ごみ燃焼炉への応用)

##### ・ダイオキシンの抑制と燃焼のコントロール

$\text{CO}$ および $\text{CO}_2$ の生成量とダイオキシンの生成量とに相関があると言われているが、これらの濃度をリアルタイムでモニタリングしコントロールすることによって、燃焼負荷変動により生ずるダイオキシンを低減することが可能である。また、 $\text{CH}_4$ 、 $\text{NO}$ 、 $\text{CO}_2$ の生成量をコントロールすることにより、リバーニング減少のリアルタイムコントロールが可能となる。

#### 【0063】(家庭用給湯器への応用)

##### ・異常燃焼のセンサ

ガス漏れや燃焼の不安定性のモニタリングが可能であり、 $\text{CO}$ や $\text{NO}$ の排出が増大し異常燃焼が起きたときの

センサとして利用できる。

#### 【0064】(環境計測への応用)

##### ・航空機排気ガスの大気への影響調査

航空機から排出される高温ガスによって生成される $\text{NO}_x$ 、 $\text{CO}_2$ などの大気に与える影響を調べることができる。従来の計測器では時間応答性が悪く、また、装置の大きさなどの問題から、実機に搭載しての計測はきわめて難しかったが、この発明の計測システムは、小型、ロバストであるので、実機での計測が可能になり、 $\text{In-fight}$ の計測システムの開発も可能になる。

#### 【0065】(ガスリークセンサへの応用)

##### ・缶からの $\text{CO}_2$ のリークセンサ

図17に示すように、ビールの缶66からのリークセンサとして応用することができる。従来の計測法では、ビール缶66から漏れる僅かなガスを検知することが困難であったが、この発明の計測システムでは、高速のリアルタイム計測が可能であるため、製造過程においてビール工場のベルトコンベア67上でリークのある不良品を検出することができる。

#### 【0066】

【発明の効果】この発明の半導体レーザ分光法を用いた温度・濃度・化学種の高速計測方法および計測システムは、燃焼場に存在する燃料や燃焼ガスの温度・濃度・化学種を数10kHz以上の高時間分解能で時系列計測を行うことができる。また、装置全体の構成がコンパクトであり、多岐の分野において好適に実施することができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の半導体レーザ分光法を用いた温度・濃度・化学種の高速計測方法および計測システムの概念図である。

【図2】前記計測システムの実際の構成を概略的に示す図である。

【図3】(A)、(B)は2波長を用いて計測する場合の説明図で、(A)は構成図、(B)はレーザ光の発振状態を示す図であり、(C)、(D)はn波長を用いて計測する場合の説明図で、(C)は構成図、(D)はレーザ光の発振状態を示す図である。

【図4】2波長を用いて計測する場合の他の構成図である。

【図5】二つの吸収線の吸収度比と温度との関係を説明するための図である。

【図6】吸収度比の温度依存性を説明するための図である。

【図7】前記計測システムの他の構成例を概略的に示す図である。

【図8】セル窓の汚れのモニタリングを説明するための図である。

【図9】この発明の測定原理を説明するための図である。

【図10】 $\text{CO}_2$  の吸収線の分布を示す図である。

【図11】波長掃引方法を説明するための図である。

【図12】狭い範囲の波長掃引による吸収のピークの検出方法を説明するための図である。

【図13】上記計測システムのプローブを自動車エンジンに設置した例を示す図である。

【図14】前記プローブをエンジン気筒に設置した例を示す図である。

【図15】前記プローブを排気管に設置した例を示す図である。

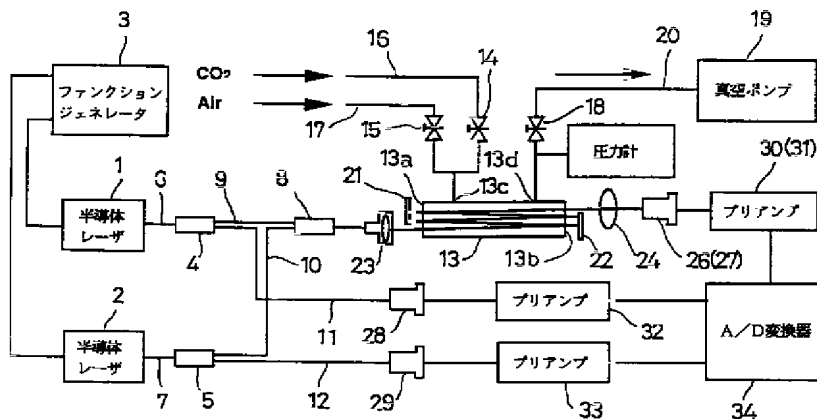
【図16】前記プローブをEGRに設置した例を示す図である。

【図17】前記プローブをビール缶におけるガスのリークセンサとして用いた例を示す図である。

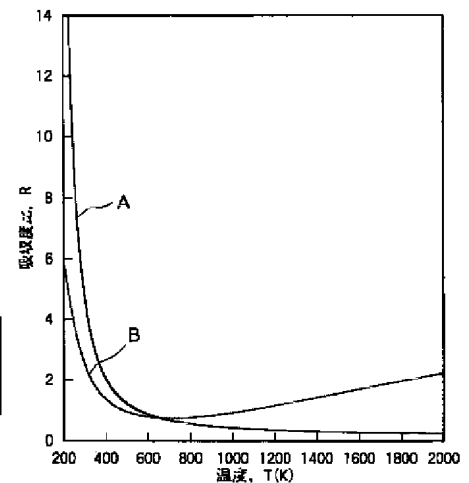
【符号の説明】

1, 2…半導体レーザー。

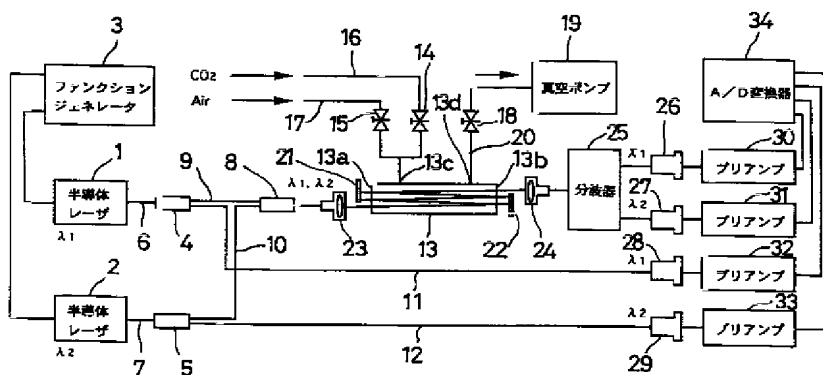
【図1】



【図5】

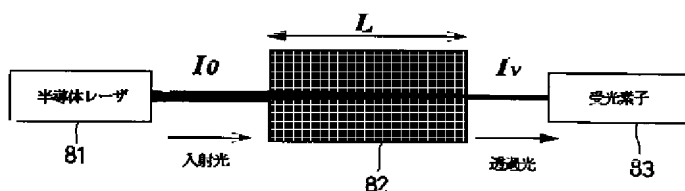


【図2】

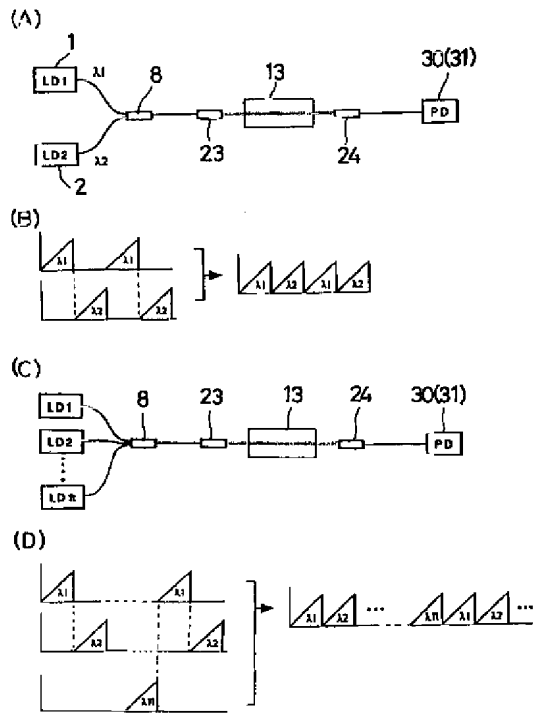


1, 2…半導体レーザー

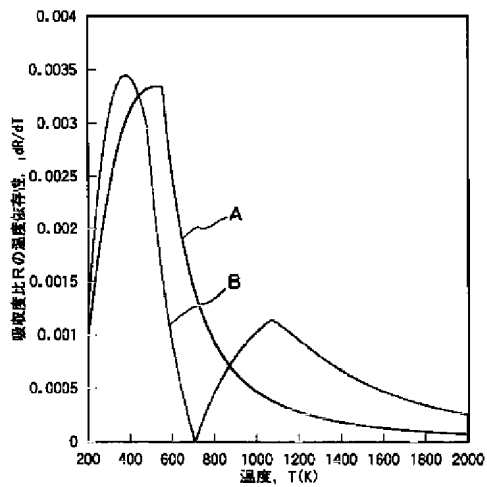
【図9】



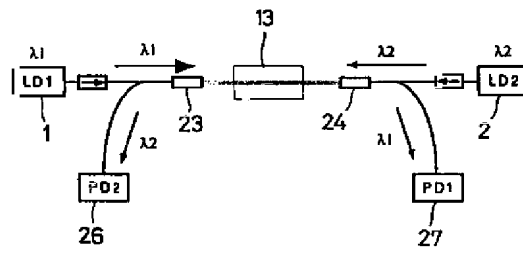
【図3】



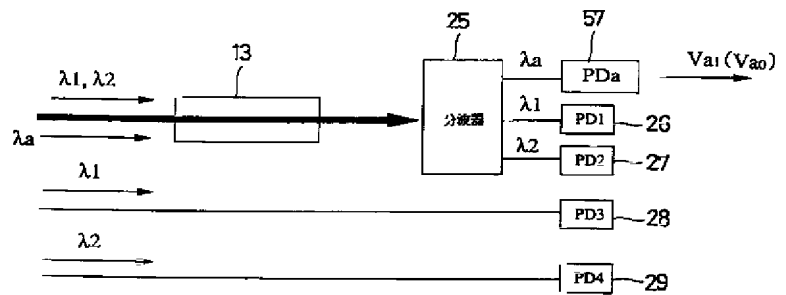
【図6】



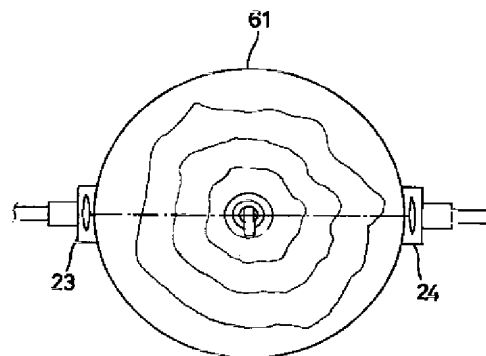
【図4】



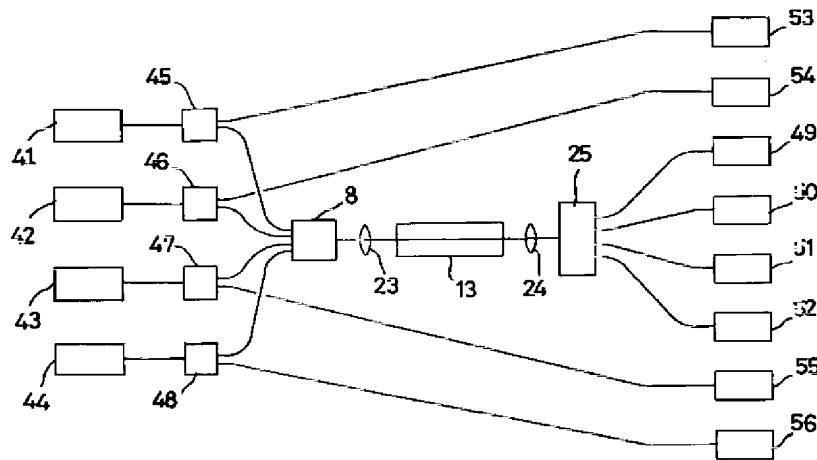
【図8】



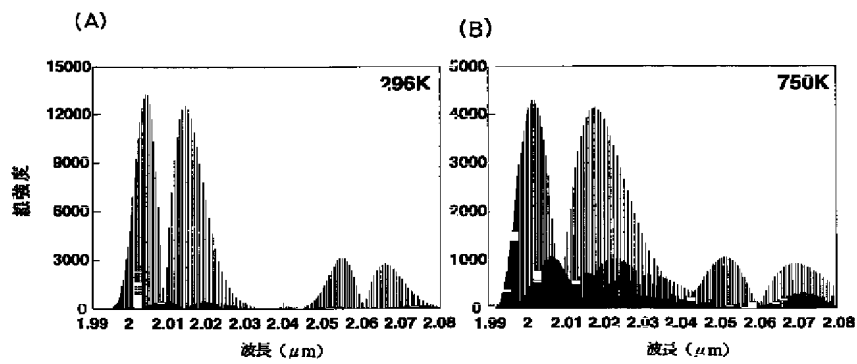
【図14】



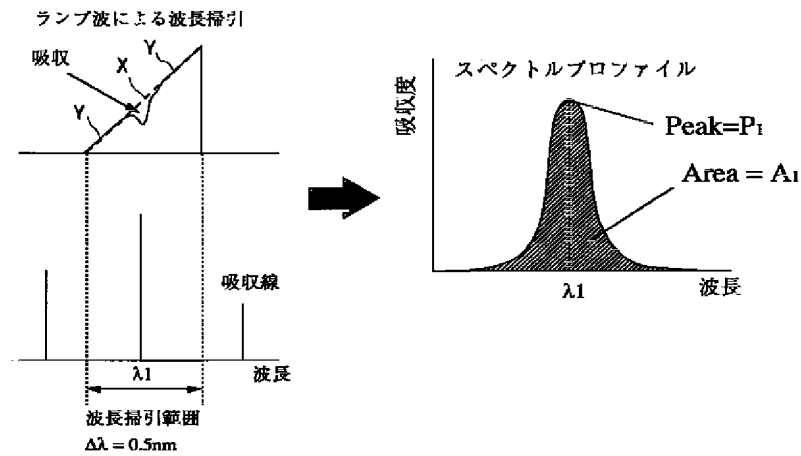
【図7】



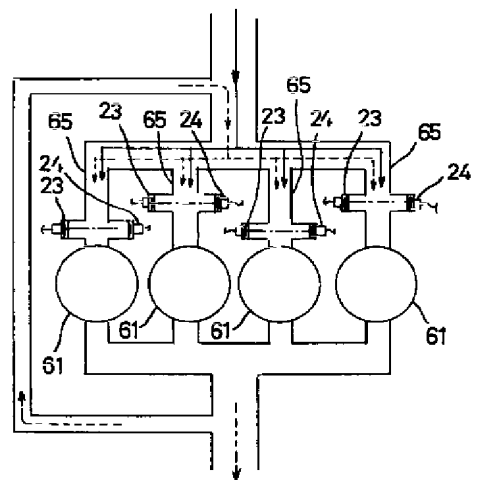
【図10】



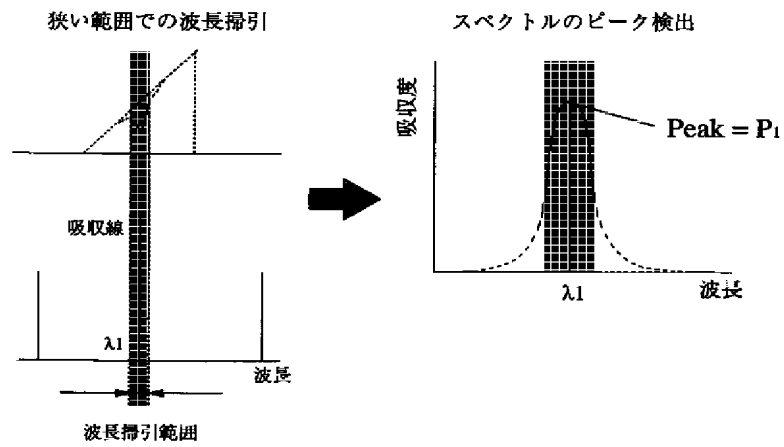
【図11】



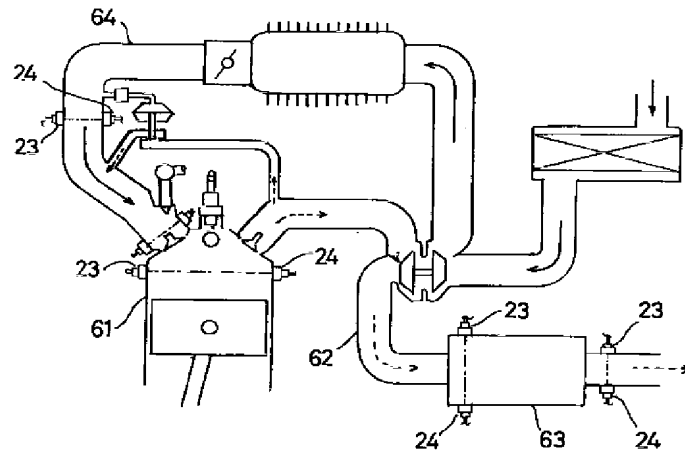
【図16】



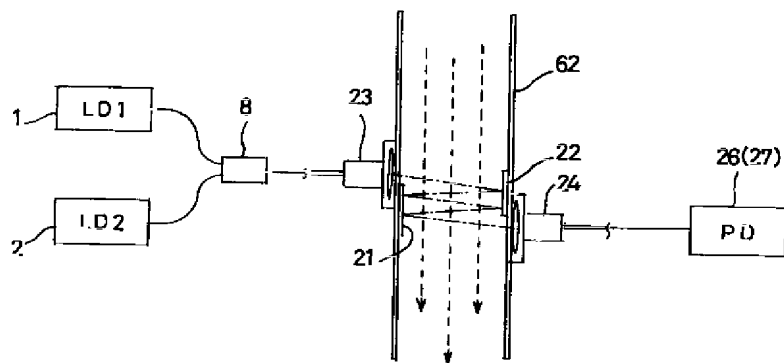
【図12】



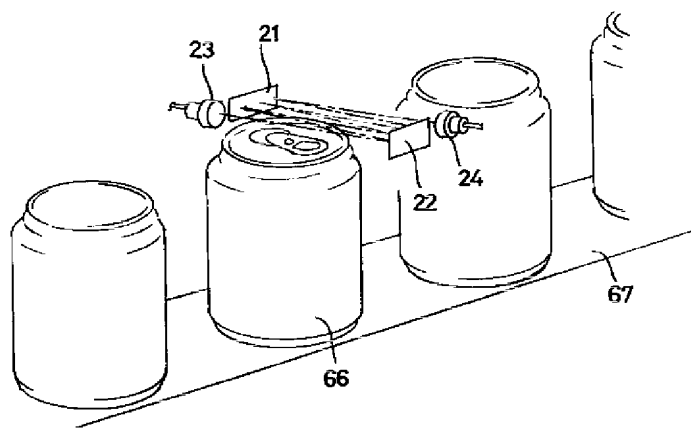
【図13】



【図15】



【図17】



フロントページの続き

(71)出願人 397047718  
池田 裕二  
兵庫県神戸市灘区篠原台5-1-1207  
(71)出願人 593036165  
西華産業株式会社  
東京都千代田区丸の内三丁目3番1号  
(72)発明者 中島 健  
兵庫県宝塚市売布山手町3-19

(72)発明者 池田 裕二  
兵庫県神戸市灘区篠原台5番1-1207号  
(72)発明者 宮▲崎▼ 和宏  
兵庫県三田市武庫が丘5丁目2番地E棟  
402号  
Fターム(参考) 2G059 AA01 BB01 CC04 CC05 CC09  
DD12 EE01 EE12 FF10 GG01  
GG02 GG03 GG09 HH01 HH06  
JJ13 JJ17 KK01 LL03 MM01  
MM17 NN01